異方性電解エッチングによる多数個穴あけ加工技術の研究

佐藤　清治*　　宮口　孝司*　　斉藤　雄治*

Study on the Multiple Hole Etching of High Aspect Ratio Using Micro Electrode

SATOU Seiji*, MIYAGUCHI Takashi* and SAITOU Yuuji*

抄　　録

電解エッチングは、電極の消耗がないため、金属に微細で高アスペクト比の穴を高品質かつ効率的に加工することができると考えられている。本研究では、微細穴加工に電解エッチングを適用するための電極として、表面を絶縁物で被覆した直径数十μmの電極を形成する方法を検討し、大気開放CVDを利用する方法、ガラスを溶融延伸する方法、電鋳による微細ニッケルチューブを用いる方法の3種類の加工法を開発した。ガラスを溶融延伸して導体に被覆する方法では、導体の曲がりを矯正し、加工に十分耐えられるだけの剛性を電極に付与することができた。

1.　緒　　言

金属の微細深穴は、半導体、バイオテクノロジー、IT家電など広範な分野で必要とされている。微細な穴をあけるには、レーザー加工、ドリル加工、放電加工などが使われるが、レーザー加工では、穴の形状品質が悪く、長さLと直径Dの比であるアスペクト比（L/D）を大きくすることができない。ドリルでは、最小でφ30μmの穴を品質良くあけることができるが、L/Dが小さいうえ高硬度の材料に対しては加工が困難である。放電加工では10μm以下の穴をあけることが可能であるが、電極の先端が除々に細るために、先端が細いテーパー形状となってしまう。また、電極は超硬合金などを回転させ繰り出しながら、ワイヤー放電加工によって、除々に細らせていくため、材料の内部応力の不均衡に起因する電極の屈曲が発生しやすい、等の理由で穴精度を確保することが難しいうえ、表面粗さを数μm以下にすることが困難である。

電解エッチングは、電極が消耗することなく、電流と電解質によって決まる溶出量と電極の送り速度をコントロールすることで、垂直な異方穴を形成することが可能である。しかし、微細穴を加工するためには、直径数十μmの導線を絶縁膜で被覆した電極を作成する必要があるが、報告された例はない。

そこで、本研究では、微細な導体に絶縁膜によって被覆し、微細穴加工用電極を作成する方法について、検討した。

2.　電極製造方法の検討

穴あけ加工では、電解液中で、電極を陰極に、被加工物を陽極にして、電圧をかけ、一定の速度で両者を接近させ、電流で被加工物を溶出しながら、微細な穴をあけていく。電極は先端以外を絶縁物で包んであるため、側壁の溶出が抑制されるうえ、電極の消耗がないため、深さ方向に対して直径が一定で、L/Dの大きい穴を

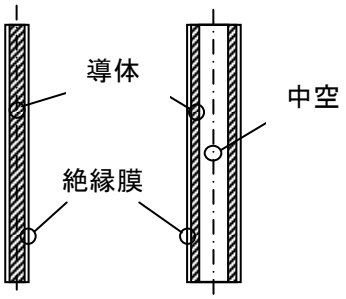

図１　電極の構造

*　中越技術支援センター

あけることができる。電解液は金属が溶出すると、徐々に金属イオン濃度が上昇し、溶出量が減少してくる。そのため、新鮮な電解液を加工部分に供給し続ける必要がある。

図 1 (a)および(b)に電極の構造を示す。図 1(a)は、中心の導線の周りを絶縁体で包んだタイプⅠの電極である。同図(b)は導線にチューブを用いたタイプⅡの電極である。

タイプⅠは電極を導体で包んだだけの単純な構造のため、電極全体の直径を小さくすることが容易であり、直径 100μm 以下の電極を作る場合に適用する。しかし、そのままでは、外部から電解液を供給することが困難であるので、電極を上下させ、強制的に液を循環させる必要がある。一方、タイプⅡは中心の中空部分から、電解液を注入することができるため、電極を上下させる必要はないが、中空部分に液を通すためには高圧が必要になる。

ハーゲンポアズイユの式で摩擦係数を求め、ファニングの式で圧力損失を求める。粘性係数 0.001Pa･s、密度 1000kg/m^3、長さ 2.5×10^{-2}m、管壁の表面粗さ 1×10^{-4}m、流量 1×10^{-8}m^3/s のもとで、圧力損失は、直径 5×10^{-5}mのとき 1.6MPa、直径 6×10^{-5}mのとき 0.79MPa に達する。加工する場合には、側壁と電極の間を電解液が流出するので、圧力降下はさらに激しくなる。一般的に入手できるダイアフラム型ポンプの最大吐出圧力は 1.6MPa であり、配管その他の損失を考慮すると、タイプⅡの電極では、内径 60μm以上の電極に適用する必要がある。

本研究ではタイプⅠの電極 2 種類とタイプⅡの電極 1 種類の製造方法を検討した。

2.1　タイプⅠ電極の製造方法

タイプⅠ電極には、中心にタングステンの細線（10μm、40μm）を用い、絶縁膜形成について２種類の電極製造方法を検討した。

2.1.1　大気開放 CVD 法による絶縁膜の形成

大気開放 CVD 法は、有機金属をヒータで過熱蒸発させ、分解温度以上に加熱した被加工物に吹きつけて分解・酸化させ、金属酸化物による絶縁膜を形成する方法である。導体には、直径 10μmのタングステン線を用い、絶縁膜にはアルミニウムの有機金属化合物を用いてアルミナを形成した。

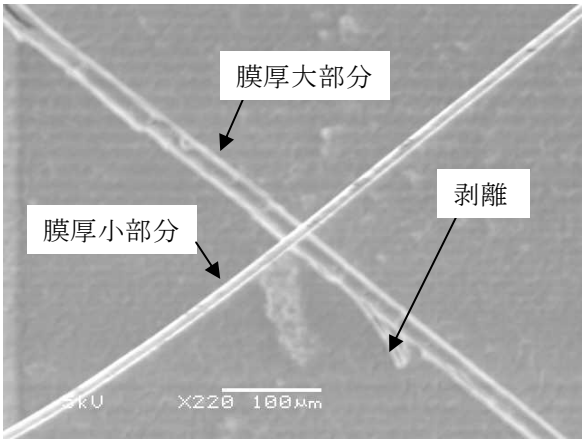

図２　大気開放 CVD 法によって形成した電極

図 2 に大気開放 CVD 法によって形成した電極の SEM 写真を示す。一様に絶縁膜を形成できたが、一部に剥離が生じている。特に噴射ノズル付近の有機金属ガス濃度の高い部分で、膜厚が厚く剥離が激しい。ガスが噴射ノズルから遠く、膜厚が薄い部分では剥離が生じていないことから、膜の残留応力によって剥離が生じると考えられる。また、形成した電極には、導線の曲がりがそのまま残ってしまうため、電極に適用するには導線をあらかじめ熱処理等で矯正しておく必要がある。

2.1.2　ガラス溶融延伸被覆法

電極の曲がりを矯正する方法には前述の熱処理による方法のほか、導体を剛性の高い絶縁膜の鞘（さや）で包んで矯正させる方法が考えられる。そこで、導線を剛性の高いガラスの鞘で包むことで曲がりを矯正する方法（ガラス溶融延伸被覆法）について検討した。

生化学分野では、微細なハンドリングを必要とする場合、中空のガラス管をバーナーで溶融延伸し、中空の微細管を作成する方法が広く用いられている。ガラスは、ヤング率が高いため、導線の周りにガラスを被覆することによって、導体の曲がりを矯正し、さらに緻密な絶縁膜を

形成できると考えた。ガラス溶融延伸被覆法の概要を図 3 に示す。あらかじめ、外径 1mm 程度に延伸したガラス管中にタングステン細線を通し、A 部を溶融接合したうえで、B 部を溶融させ、管が自重で落下する際の変位を利用して電極をコーティングする。

作成したガラス溶融延伸電極を図 4 に示す。絶縁物を含めた管の外径は 61μm、導体の直径は 38μmである。ガラスの剛性によって、長さ 30mm 以上の電極でも、加工に十分な剛性を付与することができた。

2.2　タイプⅡ電極の製造方法

タイプⅡ電極に使用したニッケルチューブの仕様を表 1 に示す。

ニッケルチューブは、芯となる細線にニッケル電鋳を施し、所定の膜厚に達したら芯線を引き抜く方法で作られる。電極として使用するためには、導体を絶縁する必要があるが、今回は電極に使われる導体部分の設計のみを行った。今後、絶縁膜の形成、加工実験を行う計画である。

3.　結　　言

金属に微細で深い穴を明けるため、微細電極の加工方法を検討し、以下の結論を得た。

（1）　大気開放 CVD 法により、直径 10μmのタングステン細線に均質なアルミナ皮膜を形成することができた。

（2）　タングステンをガラス管に挿入し、溶融させ、自重で落下させるガラス溶融延伸被覆法を開発し、均一なガラス皮膜を形成することができた。

（3）　電解液を加工点に効率的に供給することの可能なニッケルの中空チューブを設計製作した。

謝　　辞

本研究を遂行するにあたり、株式会社トクサイ様には、実験で使用したタングステン等の細線を提供して頂きました。御礼申し上げます。

表 1　ニッケルチューブの仕様

材質	純ニッケル
内径	60μm
外径	90μm
長さ	200mm

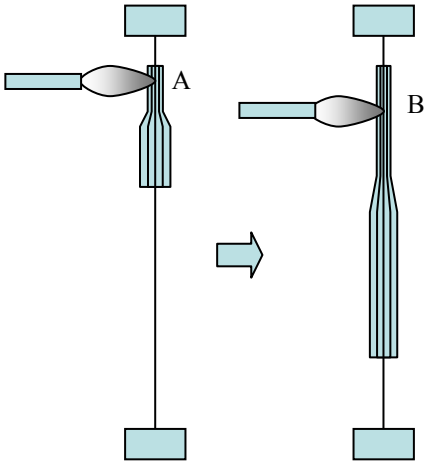

図 3　ガラス溶融延伸被覆法の概要

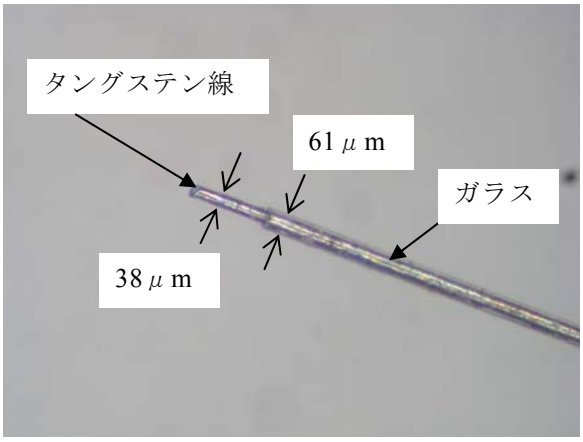

図 4　ガラス溶融延伸電極